

DigiRock – Utveckling av digital tvilling för bergborrning

Simon Larsson
Avd. för hållfasthetslära
Luleå tekniska universitet

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

Kort information om projektet

- Startade mars 2022 och avslutas februari 2025
- Projektbudget 8.2 MSEK
- Projektpartners
 - Avd. för hållfasthetslära
Luleå tekniska universitet, koordinator
 - Epiroc Drilling Tools AB
 - Boliden Minerals AB
 - DYNAmore Nordic AB
 - Vastec Engineering AB



Bakgrund

- Bergborring i gruvindustrin
 - Första steget innan sprängning och fragmentering av sten
 - God sprängningseffektivitet och fragmentering är beroende av borrhålen
 - Effekter på senare processteg: lasting, frakt och krossning
- Hur borra optimalt?
 - Val av applicerat tryck, vridmoment och rotationshastighet
 - Operatörens erfarenhet samt empirisk kunskap har stor betydelse vid val av borrarparametrar
- Design av borkrona
 - Viktning av sjunkhastighet och slitage

Projektmål

- Optimerad borrarprocess
 - Minimera slitage på borkrona med bibehållen eller förbättrad sjunkhastighet
- Utveckla en digital tvilling av borrarprocessen
 - Fysikaliskt baserade modeller kombinerat med avancerade numeriska simuleringar
 - Stöd i utveckling av borrarverktyg och för optimering av borrarprocessen
- Främja industriell expertis inom mjukvara för simulering
 - Implementering av användarvänliga simuleringsmetoder

Projektmål

Övergripande vetenskapligt projektmål

- Utveckla effektiva, fysikaliska numeriska modeller som möjliggör studie och optimering av bergborring (“hjärnan” i den digitala tvillingen)

Sex delmål

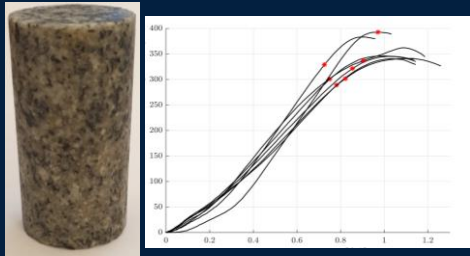
1. Mekanisk karakterisering av stenmaterial
2. Utveckling av mätsystem för datagenerering vid borrning i Aitik
3. Utveckling och validering av numerisk modell för slitage
4. Utveckling och validering av numeriska modeller för bergborring
5. Optimering av borrarparametrar och borrar-kronans geometri
6. Validering av prototype i fält

Utmaningar

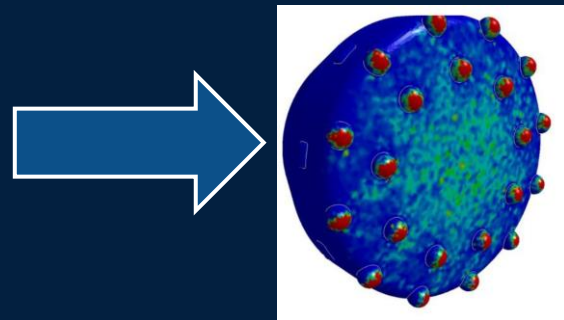
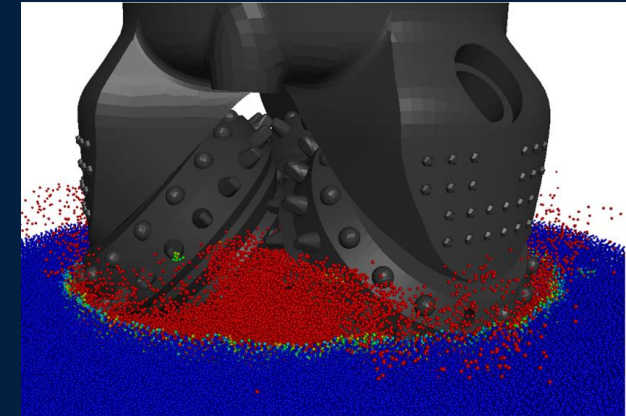
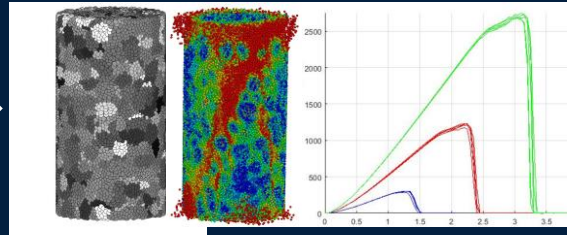
- Numerisk modellering och simulering av sten som spricker/krossas
- Hur orsakas slitage på borrarutrustning och hur kan vi modellera slitage?
- Modell för transport av borrhax med borrhätska som transportmedium
- Koppla olika numeriska modeller för ingående processer vid bergborring i en digital tvilling

Metod

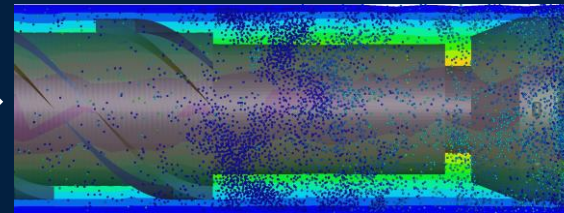
Experiment



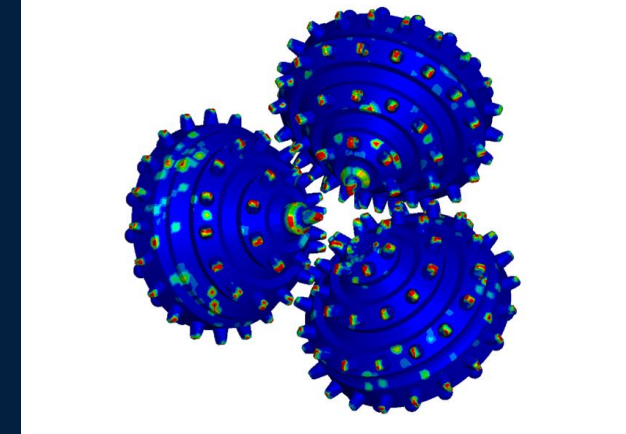
Kalibrerad modell för sten



Modell för slitage

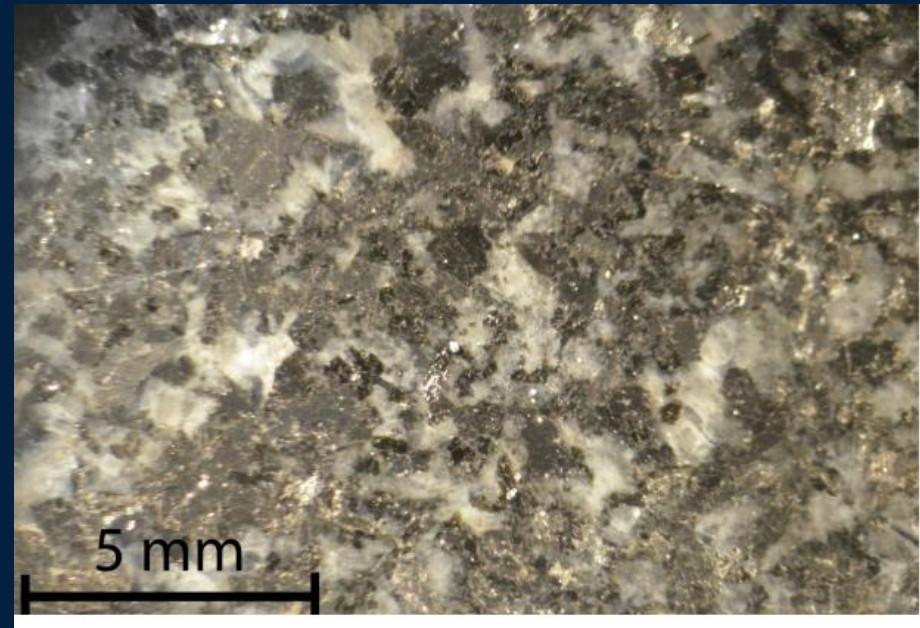


Strömningsmekanik
Transport av borrhax



Numerisk modell - sten

- Sten är ett heterogent material
 - Olika mineral
 - Olika kornstorlekar, kornformer, korngränser, orienteringar
- Oförutsägbart materialbeteende
 - Sprickinitiering och propagering
- Hur modellera numeriskt?




Heterogen stenmodell

Tre steg för att skapa modellen

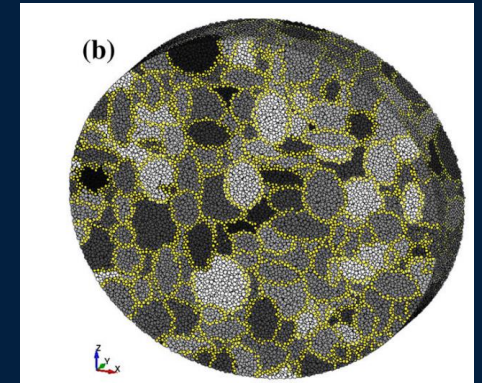
1. Generera korn med oregelbunden storlek och form
2. Tilldela kornens materialegenskaper
3. Cementera samman korn

Computational Particle Mechanics
<https://doi.org/10.1007/s40571-021-00434-w>

A statistical DEM approach for modelling heterogeneous brittle materials

Albin Wessling¹  · Simon Larsson¹ · Pär Jonsén¹ · Jörgen Kajberg¹

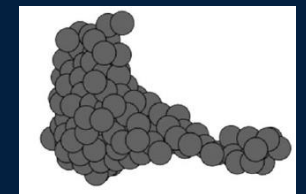
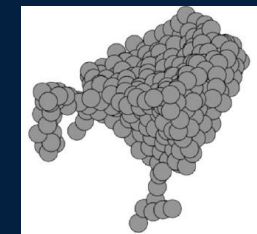
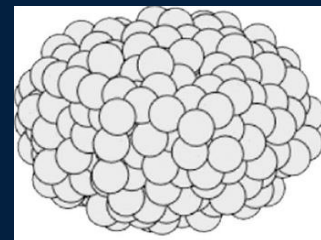
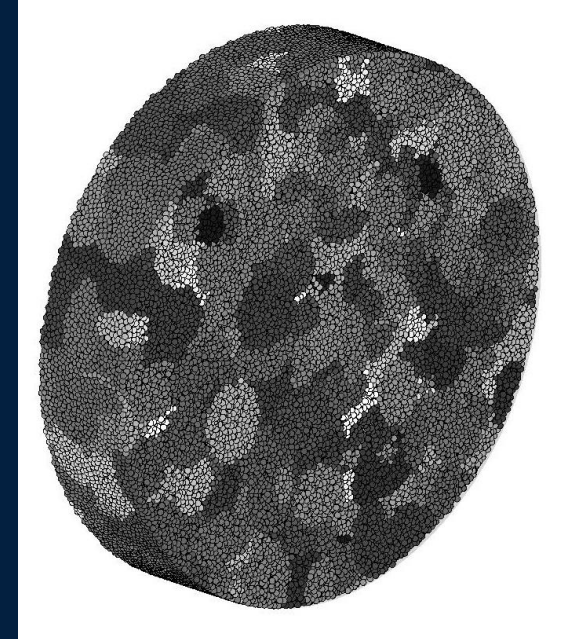
Received: 28 May 2021 / Revised: 17 August 2021 / Accepted: 19 August 2021
© The Author(s) 2021



Heterogen stenmodell

1. Kornen representeras av slumpmässigt fördelade ellipsoida subset av s.k. Bonded DEM (BDEM)
 - Ellipsoider med statistiskt fördelad radie

$$R_x, R_y, R_z \sim U(R_{\min}, R_{\max})$$

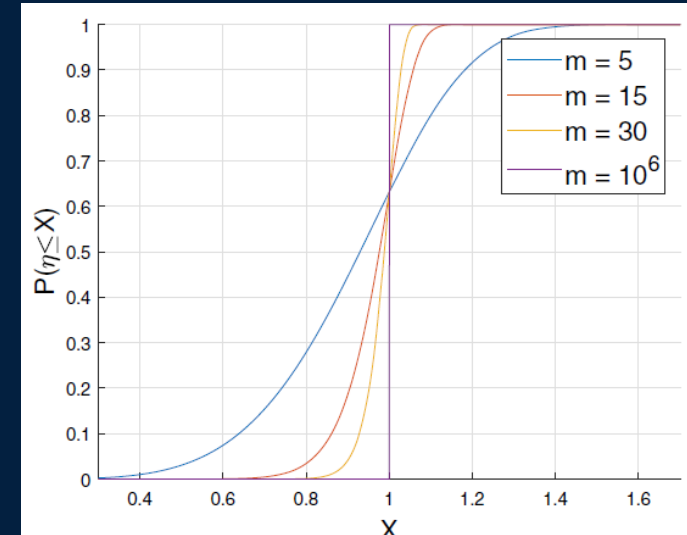


Heterogen stenmodell

2. Medelstyvhet och styrka hos korn ges av Weibullfördelning

$$f(\eta, \eta_0, m) = \frac{m}{\eta_0} \left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)^{m-1} e^{-(\eta/\eta_0)^m}$$

där m är heterogenitetstalet



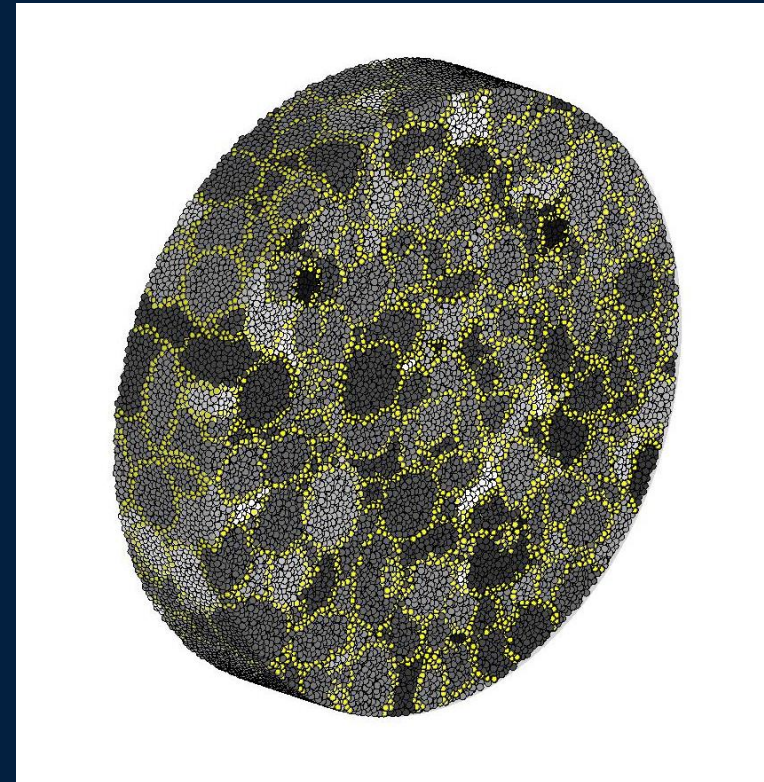
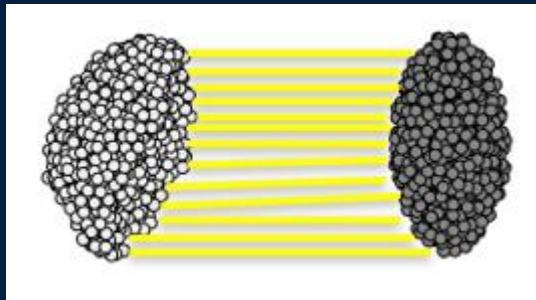
Heterogen stenmodell

3. Korn cementeras med sina grannar med en nedskalad styrka

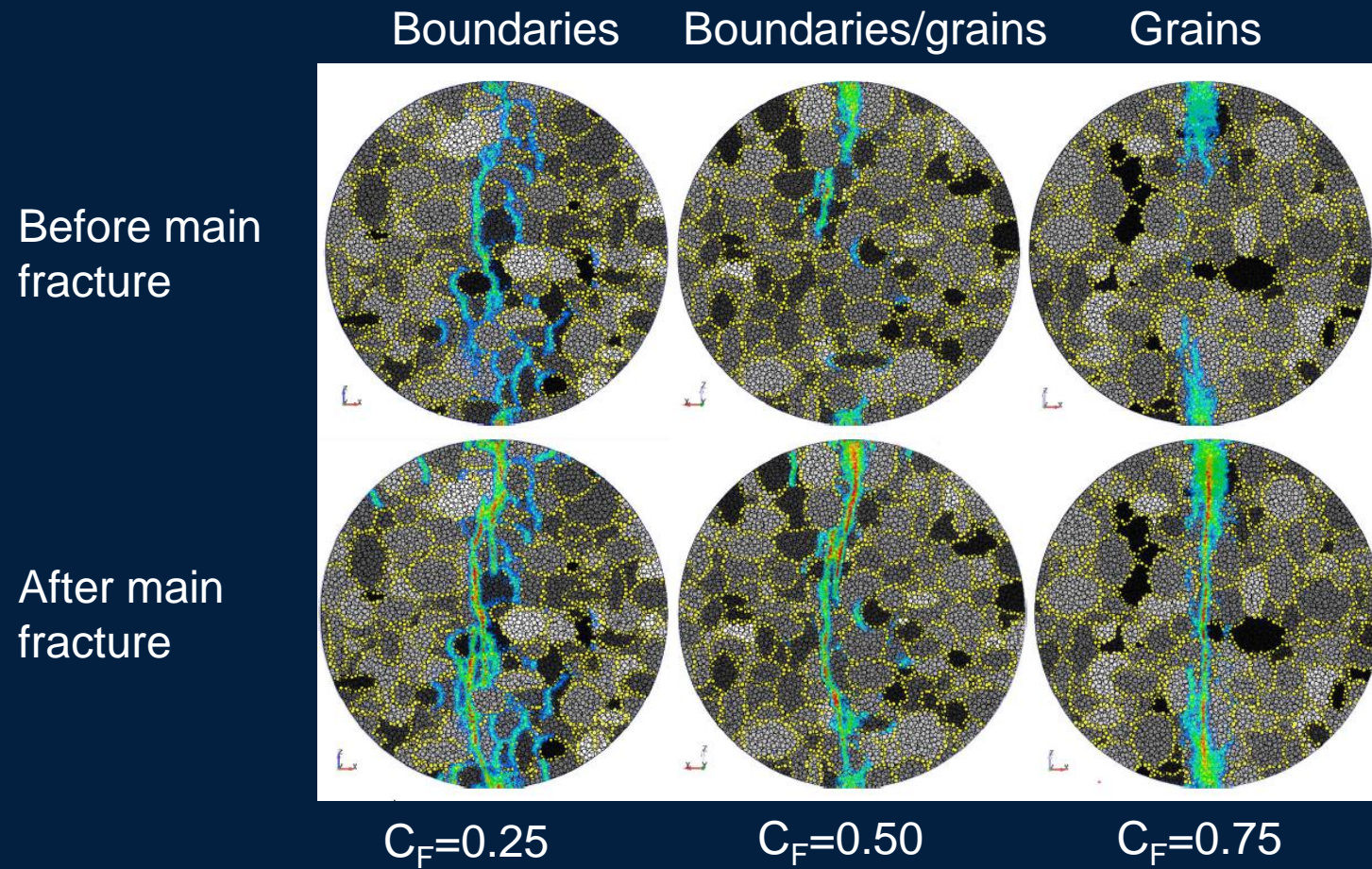
$$\bar{\sigma}_c^{ij} = C_f \cdot \bar{\sigma}_c^i$$
$$\bar{\tau}_c^{ij} = C_f \cdot \bar{\tau}_c^i$$

Korn i

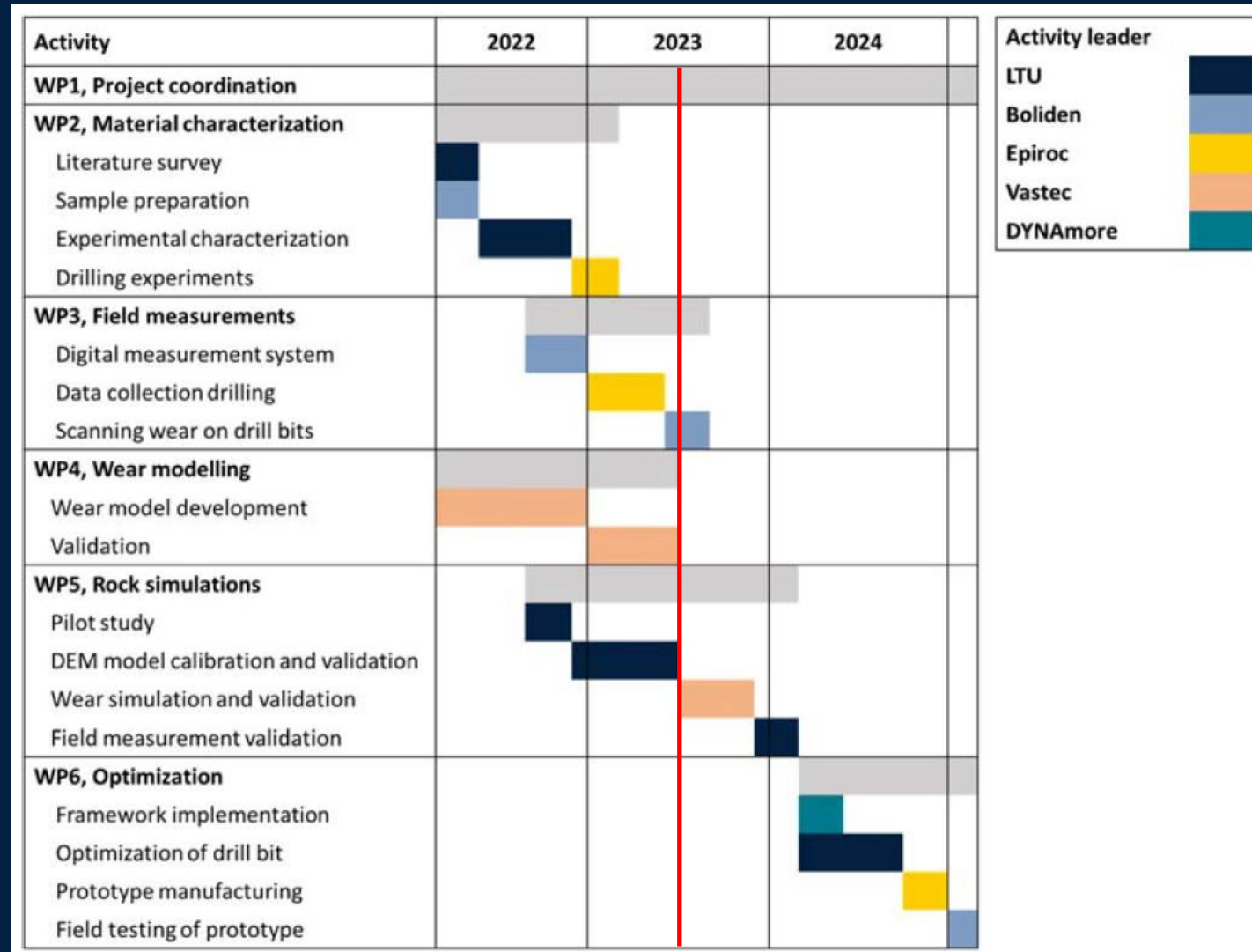
Korn j



Resultat - sprickpropagering



Var vi är i projektet



Spridning av projektresultat

- Journalpublikationer
 - 4 st pågående/planerade
- Internationella konferenser
 - International Conference on Particle-based Methods, Particles 2023
Milano, 9-11 okt 2023
 - World Congress on Computational Mechanics
Vancouver, 21-26 juli 2024

Kontakt

DigiRock – Utveckling av digital tvilling för bergborring

Projektledare

Simon Larsson

simon.larsson@ltu.se



LULEÅ

TEKNISKA

UNIVERSITET